

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|---|----|
| 0 | <i>Einleitung</i> | 1 |
| 0.1 | Naturwissenschaft und Theologie - Schlaglichter auf ein spannungsreiches Verhältnis | 1 |
| 0.2 | Inhaltliche und methodische Intentionen dieser Arbeit | 15 |

Erster Teil: Erkenntnisumbrüche in den Naturwissenschaften und in der Mathematik

| | | |
|---------|---|----|
| 0 | <i>Überblick</i> | 27 |
| 1 | <i>Die Quantenmechanik und ihre Bedeutung für ein neues Verständnis von Wirklichkeit</i> | 28 |
| 1.1 | Die Umgestaltung des traditionellen naturwissenschaftlichen Weltbildes durch die Quantenmechanik | 28 |
| 1.2 | Grundzüge der geschichtlichen Entwicklung der Quantenphysik von Max Planck bis zur Kopenhagener Deutung (1900-1926) | 30 |
| 1.2.1 | Die Begründung und Entwicklung der Quantentheorie (1900 bis 1924) | 30 |
| 1.2.1.1 | Überblick | 30 |
| 1.2.1.2 | Die Anfänge der Quantentheorie (Max Planck) | 30 |
| 1.2.1.3 | Anwendungen quantentheoretischer Konzepte (Albert Einstein) | 33 |
| 1.2.1.4 | Anfänge einer Quantentheorie des Atoms (Niels Bohr) | 34 |
| 1.2.1.5 | Die Entdeckung der Welleneigenschaft der Materie (Louis de Broglie) | 36 |
| 1.2.2 | Die Entwicklung der Quantenmechanik (1925 bis 1926) | 38 |
| 1.2.2.1 | Überblick | 38 |
| 1.2.2.2 | Ein erster Zugang zur Quantenmechanik: die Matrizenmechanik von Werner Heisenberg | 38 |
| 1.2.2.3 | Ein zweiter Weg zur Quantenmechanik: die Wellenmechanik von Erwin Schrödinger | 41 |
| 1.2.2.4 | Der Nachweis der Äquivalenz von Matrizen- und Wellenmechanik (Erwin Schrödinger) | 42 |
| 1.2.2.5 | Die wahrscheinlichkeitstheoretische Deutung der Wellenmechanik (Max Born) | 43 |
| 1.3 | Die Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik | 44 |
| 1.3.1 | Zum Begriff | 44 |
| 1.3.2 | Die Problematik der Deutung mikrophysikalischer Phänomene am Beispiel des Welle-Teilchen-Dualismus | 45 |
| 1.3.2.1 | Materie und Strahlung bzw. Teilchen und Welle in der klassischen Physik | 45 |
| 1.3.2.2 | Die Entstehung und Entwicklung des Dualismusproblems | 46 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 1.3.2.3 | Das Doppelspaltexperiment | 47 |
| 1.3.3 | Die Heisenbergsche Unschärferelation | 50 |
| 1.3.3.1 | Formulierung und Interpretation | 50 |
| 1.3.3.2 | Unschärferelation und Welle-Teilchen-Dualismus | 53 |
| 1.3.3.3 | Zur Bedeutung der Unschärferelation als Grenze für Begriffe und Vorstellungen der klassischen Physik | 54 |
| 1.3.4 | Das Bohrsche Komplementaritätsprinzip | 55 |
| 1.3.5 | Weitere Aspekte der Kopenhagener Deutung | 56 |
| 1.3.5.1 | Die Beschreibung quantenmechanischer Prozesse | 56 |
| 1.3.5.2 | Das Verhältnis von Sprache und Wirklichkeit | 59 |
| 1.3.5.3 | Die Rolle des Beobachters bei der Analyse mikrophysikalischer Vorgänge | 61 |
| 1.3.6 | Die Frage nach der Kausalität | 63 |
| 1.3.6.1 | Wahrscheinlichkeit und Statistik in der Physik | 63 |
| 1.3.6.2 | Statistische Kausalität in der Quantenmechanik | 64 |
| 1.4 | Interpretationsprobleme der Quantenmechanik | 68 |
| 1.4.1 | Verborgene Parameter und Nichtlokalität | 69 |
| 1.4.2 | Der quantenmechanische Meßprozeß | 73 |
| 2 | <i>Umbrüche in den Wissenschaften durch die Chaosforschung</i> | 76 |
| 2.1 | Das Schlagwort von der Chaostheorie | 76 |
| 2.2 | Chaosforschung als Anfrage an die Naturwissenschaften | 78 |
| 2.2.1 | Der Einzug des „Chaos“ in die Wissenschaft | 78 |
| 2.2.2 | Infragestellung klassischer Prämissen der Naturwissenschaften | 80 |
| 2.3 | Chaotische Prozesse - Problemexposition an einem Beispiel | 82 |
| 2.3.1 | Das logistische Modell | 82 |
| 2.3.1.1 | Modellierung der Populationsdynamik biologischer Spezies | 82 |
| 2.3.1.2 | Ein erstes Modell zur Populationsdynamik | 83 |
| 2.3.1.3 | Ein verbessertes Modell zur Populationsdynamik - die logistische Gleichung | 85 |
| 2.3.2 | Die logistische Gleichung als Gegenstand der Chaostheorie | 86 |
| 2.3.2.1 | Erste Beobachtungen | 86 |
| 2.3.2.2 | Verletzte starke Kausalität | 88 |
| 2.3.2.3 | Die Unmöglichkeit langfristiger Prädiktion | 89 |
| 2.3.2.4 | Stabilität und Chaos | 92 |
| 2.4 | Grundfragen der Chaostheorie | 94 |
| 2.4.1 | Eigenschaften chaotischer Systeme | 94 |
| 2.4.1.1 | Endogen erzeugter chaotischer Bewegungsablauf | 94 |
| 2.4.1.2 | Deterministische Systemgleichungen von spezifischer Bauart | 94 |
| 2.4.1.3 | Sensitive Abhängigkeit von den Anfangsbedingungen | 99 |
| 2.4.2 | Grundprobleme der Naturwissenschaften als Themen der Chaostheorie | 102 |
| 2.4.2.1 | Fragen der Kausalität | 102 |
| 2.4.2.2 | Das Problem des Determinismus | 107 |
| 2.4.2.3 | Der Begriff der Komplexität | 108 |
| 2.4.3 | Ordnungsprinzipien im Chaos - die fraktale Geometrie | 113 |
| 2.4.3.1 | Die fraktale Geometrie und ihr Zusammenhang mit der Chaostheorie | 113 |
| 2.4.3.2 | Fraktale Objekte und fraktale Dimensionen | 115 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 2.4.3.3 | Selbstähnlichkeit bei Fraktalen | 117 |
| 2.5 | Zur Bedeutung der Chaosforschung für ein neues Wissenschafts- paradigma | 120 |
| 3 | <i>Grundlagenfragen der modernen Mathematik und Logik</i> | 122 |
| 3.1 | Die Grundlagendiskussion in der Mathematik und Logik - eine vernachlässigte Thematik | 122 |
| 3.2 | Nichteuklidische Geometrie, Logistik und Mengenlehre als Weg- bereiter bzw. Felder der Grundlagenforschung | 125 |
| 3.2.1 | Die nichteuklidische Geometrie und ihre Bedeutung für die Axiomatik | 125 |
| 3.2.1.1 | Das Parallelenpostulat | 125 |
| 3.2.1.2 | Die Entdeckung der nichteuklidischen Geometrie | 127 |
| 3.2.1.3 | Modelle nichteuklidischer Geometrien | 130 |
| 3.2.1.4 | Die Axiomatisierung der Geometrie durch David Hilbert | 132 |
| 3.2.2 | Grundbegriffe der Logistik | 135 |
| 3.2.2.1 | Logik und Logistik | 135 |
| 3.2.2.2 | Formale Systeme | 138 |
| 3.2.2.3 | Skizze der Aussagenlogik | 144 |
| 3.2.2.4 | Skizze der Prädikatenlogik | 147 |
| 3.2.3 | Die Anfänge einer mengentheoretischen Grundlegung der Mathematik und das Antinomienproblem | 149 |
| 3.2.3.1 | Begründung und Entwicklung der Mengentheorie im Abriß | 149 |
| 3.2.3.2 | Die Rolle des Unendlichen in der Cantorsche Mengenlehre | 153 |
| 3.2.3.3 | Einige Grundtatsachen der Mengenlehre | 157 |
| 3.2.3.4 | Die Antinomien in der Cantorsche Mengenlehre | 160 |
| 3.2.4 | Das Antinomienproblem als Auslöser der Grundlagendiskussion | 166 |
| 3.3 | Der Logizismus | 169 |
| 3.3.1 | Der Grundgedanke des logizistischen Programms | 169 |
| 3.3.2 | Geschichtliche Entwicklung | 171 |
| 3.3.2.1 | Vorläufer des Logizismus | 171 |
| 3.3.2.2 | Realisierungsversuche des logizistischen Programms bei Frege, Russell und Whitehead | 172 |
| 3.3.3 | Philosophische Prämissen des Logizismus | 175 |
| 3.3.4 | Das Scheitern des Logizismus | 176 |
| 3.3.4.1 | Schwierigkeiten und Widersprüche bei der Durchführung des logizistischen Programms | 176 |
| 3.3.4.2 | Kritik an der logizistischen Konzeption und ihren philosophischen Voraussetzungen | 180 |
| 3.4 | Intuitionistische Mathematik | 182 |
| 3.4.1 | Grundzüge intuitionistischen Denkens in der Mathematik | 182 |
| 3.4.1.1 | Einführung | 182 |
| 3.4.1.2 | Kernpunkte des intuitionistischen Programms | 184 |
| 3.4.1.3 | Radikale Kritik an der klassischen Mathematik | 187 |
| 3.4.2 | Stichpunkte zur geschichtlichen Entwicklung | 188 |
| 3.4.2.1 | Vorläufer des Intuitionismus | 188 |
| 3.4.2.2 | Die Begründung und Entwicklung des intuitionistischen Programms durch Brouwer, Weyl und Heyting | 189 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.4.2.3 | Die Entstehung des Konstruktivismus | 191 |
| 3.4.3 | Philosophische Voraussetzungen des Intuitionismus | 192 |
| 3.4.3.1 | Mathematik als konstruktives Wirken des Intellekts | 192 |
| 3.4.3.2 | Die intuitionistische Bewertung der Sprache und der Logik | 194 |
| 3.4.3.3 | Philosophische Einordnung des Intuitionismus | 196 |
| 3.4.4 | Kritik am Intuitionismus | 197 |
| 3.4.4.1 | Kritik an den philosophischen Prämissen | 197 |
| 3.4.4.2 | Kritik an den Konsequenzen für die Mathematik | 199 |
| 3.5 | Das Hilbertsche Programm und der Formalismus | 200 |
| 3.5.1 | Einführung | 200 |
| 3.5.2 | Das Hilbertsche Programm einer Fundierung der Mathematik | 201 |
| 3.5.2.1 | Die Ebene des reinen Formalismus | 202 |
| 3.5.2.2 | Die metamathematische Ebene | 203 |
| 3.5.2.3 | Das Ziel des Hilbertschen Programms | 205 |
| 3.5.3 | Zur geschichtlichen Entwicklung des Hilbertschen Programms und des Formalismus | 206 |
| 3.5.4 | Das Hilbertsche Programm und der Formalismus in philosophischer Perspektive | 208 |
| 3.5.4.1 | Die philosophischen Grundlagen des Hilbertschen Programms | 208 |
| 3.5.4.2 | Die Frage nach der philosophischen Einordnung des Formalismus | 216 |
| 3.5.5 | Das Scheitern des Hilbertschen Programms - wichtige limitative Ergebnisse der mathematischen Grundlagenforschung | 219 |
| 3.5.5.1 | Ansatzpunkte einer philosophischen Kritik an formalistischen Positionen und am Hilbertschen Programm | 219 |
| 3.5.5.2 | Die Gödelschen Theoreme | 221 |
| 3.5.5.3 | Weitere limitative Resultate der Grundlagenforschung | 230 |

Zweiter Teil:
Aufbrüche der religiösen Thematik im
Interferenzprozeß zwischen Wissenschaft und
Weltanschauung

| | | |
|-------|---|-----|
| 0 | <i>Überblick</i> | 241 |
| 1 | <i>Max Planck: Das Absolute im Spannungsfeld von Physik und Philosophie</i> | 243 |
| 1.1 | Der Hintergrund der Planckschen Weltanschauung: die Philosophie Kants | 243 |
| 1.2 | Wechselseitige Beeinflussung von Physik und Philosophie | 245 |
| 1.2.1 | Allgemeine Naturgesetze und universelle physikalische Konstanten als Grenze zum Absoluten | 245 |
| 1.2.2 | Das Plancksche Weltbild | 247 |
| 1.3 | Spannungen zwischen Physik und Philosophie: das Problem des Determinismus | 251 |
| 1.3.1 | Die Rolle des Determinismus im Planckschen Weltbild | 251 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 1.3.2 | Das Problem der Willensfreiheit | 254 |
| 1.3.3 | Plancks Kampf gegen den Indeterminismus | 255 |
| 1.4 | Religiöse Themen bei Planck | 259 |
| 1.4.1 | Zum Gottesbegriff | 259 |
| 1.4.2 | Konvergenzen zwischen Naturwissenschaft und Religion | 261 |
| 2 | <i>Werner Heisenberg: Erschließung des Göttlichen im Wechselspiel von Physik und Philosophie</i> | 265 |
| 2.1 | Die Philosophie Platons als Grundlage der Heisenbergschen Weltanschauung | 265 |
| 2.2 | Physik und Philosophie im Prozeß wechselseitiger Vertiefung | 267 |
| 2.2.1 | Elementarteilchen und platonische Symmetrie | 267 |
| 2.2.2 | Moderne Physik und Sprachphilosophie | 272 |
| 2.2.2.1 | Sprache und Wirklichkeit | 272 |
| 2.2.2.2 | Probleme der Sprache in der Atomphysik | 277 |
| 2.3 | Philosophie und Physik im Konflikt: die Frage nach den fundamentalen Bausteinen der Materie | 281 |
| 2.4 | Zur religiösen Thematik bei Heisenberg | 287 |
| 2.4.1 | Die Frage nach der Gottheit | 287 |
| 2.4.2 | Naturwissenschaft und Religion als komplementäre Wege zur göttlichen Ordnung | 290 |
| 3 | <i>Heinrich Scholz: Mathematische Logik als Metaphysik - ein Weg zu Gott</i> | 295 |
| 3.1 | Das Grundproblem von Scholz: die Vermittlung des modernen Wahrheitsbewußtseins mit der Religion | 295 |
| 3.1.1 | Zur Person und Rezeption von Scholz | 295 |
| 3.1.2 | Die Kohärenz des Scholzschen Denkens | 297 |
| 3.1.3 | Die Person und Philosophie Leibniz' als Ideal für Scholz | 299 |
| 3.2 | Die Forderung nach Konstitution einer Metaphysik als Konsequenz der Scholzschen Grundfrage | 301 |
| 3.2.1 | Die Notwendigkeit einer Metaphysik als Ergebnis einer Problematisierung der Frage nach der Wahrheit der Religion | 301 |
| 3.2.1.1 | Das Problem der Wahrheit und das Problem der Religion | 302 |
| 3.2.1.2 | Die Frage nach der Wahrheit der Religion | 303 |
| 3.2.1.3 | Die Annahme eines „Intellectus divinus“ als Voraussetzung für einen absoluten Wahrheitsbegriff | 305 |
| 3.2.1.4 | Die metaphysische Problemstellung als Horizont der Frage nach der Wahrheit der Religion | 306 |
| 3.2.2 | Die Unabdingbarkeit der mathematischen Logik für das Konzept einer Metaphysik | 307 |
| 3.2.2.1 | Erste Berührungen mit der mathematischen Logik | 307 |
| 3.2.2.2 | Historische und systematische Verhältnisbestimmung von mathematischer Logik und Metaphysik | 308 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 3.3 | Die Verbindung von mathematischer Logik und Metaphysik | 310 |
| 3.3.1 | Der Scholzsche Metaphysikbegriff und die Konzeption einer Metaphysik | 310 |
| 3.3.2 | Die Unterscheidung zweier Formen von Metaphysik und ihr Zusammenhang mit dem Gödelschen Theorem | 314 |
| 3.4 | Zur theologischen Relevanz des Scholzschen Denkens | 319 |

Dritter Teil:

Die veränderte Erkenntnissituation in den Naturwissenschaften und in der Mathematik als Herausforderung zu einem Gespräch

| | | |
|---------|---|-----|
| 0 | <i>Überblick</i> | 325 |
| 1 | <i>Philosophie als Ort eines Dialogs zwischen Naturwissenschaft und Theologie</i> | 326 |
| 1.1 | Wechselwirkungen zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und Weltanschauung in der Person des einzelnen Forschers | 326 |
| 1.2 | Grundlagendiskussionen in den Wissenschaften als Spiegel der Auseinandersetzung zwischen philosophischen Positionen | 332 |
| 1.2.1 | Grundlagenfragen der Quantenphysik in philosophischer Perspektive | 332 |
| 1.2.1.1 | Unbestimmtheit und holistische Verschränkung von Systemen | 332 |
| 1.2.1.2 | Das Meßproblem | 333 |
| 1.2.1.3 | Symmetrien | 334 |
| 1.2.2 | Die Grundlagendiskussion in der Mathematik aus philosophischer Sicht | 335 |
| 1.2.2.1 | Fundierungsprogramme und ihr philosophischer Hintergrund | 335 |
| 1.2.2.2 | Das Scheitern der Grundlegungsprogramme und seine philosophischen Konsequenzen | 337 |
| 1.3 | Rahmenbedingungen für einen naturwissenschaftlich-theologischen Dialog | 339 |
| 1.3.1 | Der Dialog zwischen Disziplinen | 339 |
| 1.3.2 | Das Gespräch zwischen Personen | 342 |
| 2 | <i>Relevante Themen für ein Gespräch zwischen Naturwissenschaft und Theologie</i> | 346 |
| 2.1 | Grundlagenresultate in den Naturwissenschaften und in der Mathematik | 346 |
| 2.1.1 | Die Revision der Annahme universeller Kausalgesetzlichkeit | 346 |
| 2.1.2 | Unberechenbarkeit und Komplexität bei chaotischen Prozessen | 349 |
| 2.1.2.1 | Das Auseinanderfallen von Determination und Berechenbarkeit | 349 |
| 2.1.2.2 | Chaotische Prozesse als Prozesse fundamentaler Komplexität | 350 |
| 2.1.3 | Grenzen wissenschaftlicher Theorien | 351 |
| 2.1.3.1 | Unvollständigkeit | 352 |
| 2.1.3.2 | Das Problem der Widerspruchsfreiheit | 356 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 2.2 | Grundlagenresultate als Anstöße zu einem Gespräch | 358 |
| 2.2.1 | Zur theologischen Rezeption der Begriffe „Zufall“ und „Selbstorganisation“ | 358 |
| 2.2.1.1 | Der Zufall in der Mikrophysik als Ausdruck von Kontingenz und Spontaneität | 358 |
| 2.2.1.2 | Die Deutung selbstorganisierender Prozesse aus schöpfungstheologischer Perspektive | 362 |
| 2.2.2 | „Glaube“ im mathematischen und naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozeß? | 365 |
| | <i>Abkürzungen</i> | 373 |
| | <i>Quellen- und Literaturverzeichnis</i> | 374 |
| | <i>Personenregister</i> | 391 |